

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. Januar 2005 (20.01.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/006375 A2

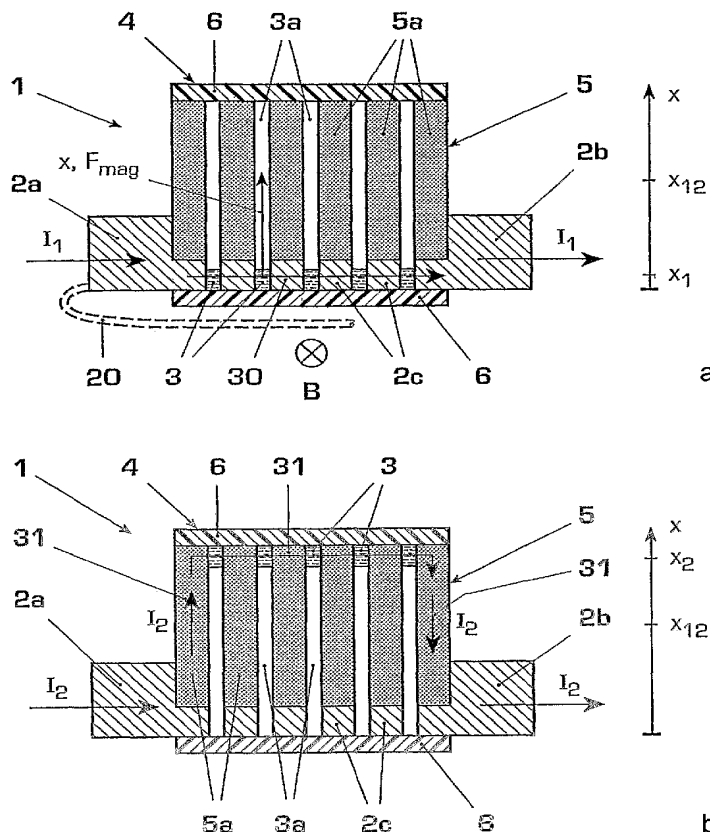
(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H01H 87/00**
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2004/000416
(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Juli 2004 (01.07.2004)
(25) Einreichungssprache: Deutsch
(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
(30) Angaben zur Priorität:
03405518.6 10. Juli 2003 (10.07.2003) EP
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **ABB RESEARCH LTD** [CH/CH]; Affolternstrasse
52, CH-8050 Zürich (CH).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NIAYESH, Kaveh**
[IR/CH]; Sonnrainweg 1, CH-5430 Wettingen (CH).
KOENIG, Friedrich [DE/CH]; Rumermatt 236, CH-5225
Oberbözing (CH).
(74) Anwalt: **ABB SCHWEIZ AG**; Intellectual Property (CH-
LC/IP), Brown Boveri Strasse 6, CH-5400 Baden (CH).
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR LIMITING THE CURRENT IN A LIQUID METAL CURRENT LIMITER

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR STROMBEGRENZUNG MIT EINEM FLÜSSIGMETALL-STROMBEGRENZER



(57) Abstract: The invention relates to a current limiting method, a current limiting device (1), and a switchgear comprising such a device (1). According to the invention, liquid metal (3) is directed along a resistor element (5) for the current limiting path (31) so as to obtain arc-free current limitation for mains-related fault currents ($i(t)$). Examples of embodiments include, among other things: an electrical resistance (R_x) that increases in a non-linear manner in the direction of movement (x) of the liquid metal (3) for a smooth current limiting characteristic; a resistor element (5) in the form of a dielectric matrix (5) comprising channels (3a) for the liquid metal (3), and a combined current limiter-circuit breaker (1). Advantages include, among other things: arc-free, reversible current limitation and optional power shutdown; suitable also for high voltages and currents; fast reaction times; reduced wear; and maintenance-friendly.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung (1) zur Strombegrenzung sowie eine Schaltanlage mit einer solchen Vorrichtung (1). Erfindungsgemäss wird Flüssigmetall (3) entlang eines Widerstandselements (5) für den Strombegrenzungspfad (31) geführt, um eine lichtbogenfreie Strombegrenzung für netzbedingte Kurzschlussströme ($i(t)$) zu erzielen. Ausführungsbeispiele

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/006375 A2



MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT,

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

betreffen u.a.: einen in der Bewegungsrichtung (x) des Flüssigmetalls (3) nicht linear zunehmenden elektrischen Widerstand (R_x) für eine sanfte Strombegrenzungscharakteristik, ein Widerstandselement (5) in Form einer dielektrischen Matrix (5) mit Kanälen (3a) für das Flüssigmetall (3), und ein kombinierter Strombegrenzer-Leistungsschalter (1). Vorteile sind u. a.: lichtbogenfreie, reversible Strombegrenzung und gegebenenfalls Stromabschaltung, geeignet auch für hohe Spannungen und Ströme, schnelle Reaktionszeiten, geringer Verschleiss und wartungsfreundlich.

BESCHREIBUNG

Verfahren und Vorrichtung zur Strombegrenzung mit einem
Flüssigmetall-Strombegrenzer

TECHNISCHES GEBIET

5 Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Primär-
technik für elektrische Schaltanlagen, insbesondere der
Begrenzung von Fehlerströmen in Hoch-, Mittel- oder Nie-
derspannungsschaltanlagen. Sie geht aus von einem Verfah-
ren und einer Vorrichtung zur Strombegrenzung sowie von
10 einer Schaltanlage mit einer solchen Vorrichtung gemäss
Oberbegriff der unabhängigen Patentansprüche.

STAND DER TECHNIK

In der DE 199 03 939 A1 wird eine selbsterholende Strom-
begrenzungseinrichtung mit Flüssigmetall offenbart.
15 Zwischen zwei Festmetallelektroden ist ein druckfestes
Isoliergehäuse angeordnet, in dem Flüssigmetall in Ver-
dichterräumen und in dazwischenliegenden, die Verdichter-
räume verbindenden Verbindungskanälen angeordnet ist, so
dass ein Strompfad für Nominalströme zwischen den Fest-
20 elektroden gegeben ist. In den Verbindungskanälen ist der
Strompfad gegenüber den Verdichterräumen eingeeengt. Die
Verbindungskanäle werden bei Kurzschlussströmen stark
erhitzt und scheiden ein Gas aus. Durch lawinenartige
Gasblasenbildung in den Verbindungskanälen verdampft das
25 Flüssigmetall in die Verdichterräume, so dass in den nun
flüssigmetallentleerten Verbindungskanälen ein strom-
begrenzender Lichtbogen gezündet wird. Nach Abklingen des
Überstroms kann das Flüssigmetall wieder kondensieren und
der Strompfad ist wieder betriebsbereit.
30 In der WO 00/77811 ist eine Fortbildung der selbsterholen-
den Strombegrenzungseinrichtung offenbart. Die Verbin-

dungskanäle sind nach oben konisch verbreitert, so dass die Füllstandshöhe des Flüssigmetalls variiert und die Nennstromtragfähigkeit über einen grossen Bereich verändert werden kann. Ausserdem wird durch eine versetzte Anordnung der Verbindungskanäle ein mäanderförmiger Strompfad gebildet, so dass bei überstrombedingtem Verdampfen des Flüssigmetalls eine Serie strombegrenzender Lichtbögen gezündet wird. Derartige Pinch-Effekt Strombegrenzer benötigen einen hinsichtlich Druck und Temperatur sehr stabilen Aufbau, was konstruktiv aufwendig ist. Durch die Strombegrenzung per Lichtbogen tritt grosser Verschleiss im Innern des Strombegrenzers auf und Abbrandrückstände können das Flüssigmetall kontaminieren. Durch die Rekondensation des Flüssigmetalls stellt sich unmittelbar nach einem Kurzschluss wieder ein leitfähiger Zustand ein, so dass kein Ausschaltzustand vorhanden ist.

In der DE 40 12 385 A1 wird eine stromgesteuerte Abschaltvorrichtung offenbart, deren Funktionsprinzip auf dem Pinch-Effekt mit Flüssigmetall beruht. Zwischen zwei Festmetallelektroden ist ein einzelner, schmaler, mit Flüssigmetall gefüllter Kanal angeordnet. Bei Überstrom wird der flüssige Leiter infolge der elektromagnetischen Kraft durch Pinch-Effekt zusammengezogen, so dass der Strom selbst den flüssigen Leiter abschnürt und trennt. Das verdrängte Flüssigmetall wird in einem Vorratsbehälter gesammelt und fliesst nach dem Überstromereignis wieder zurück. Die Kontakttrennung erfolgt ohne Lichtbogen. Jedoch ist die Einrichtung nur für relativ kleine Ströme, geringe Spannungen und langsame Abschaltzeiten geeignet und bietet keinen dauerhaften Ausschaltzustand.

In der DE 26 52 506 wird ein elektrischer Hochstromschalter mit Flüssigmetall offenbart. Einerseits wird eine Flüssigmetallmischung zur Benetzung von Festmetallelektroden und zur Herabsetzung des Kontaktwiderstands verwendet. Dabei wird das Flüssigmetall durch mechanische Verdrängung, z. B. durch bewegliche Kontakte oder pneumatisch angetriebene Tauchkolben, entgegen der Schwerkraft in den

Kontaktspalt getrieben. Durch Pinch-Effekt, gemäss dem ein stromführender Leiter durch den ihn durchfliessenden Strom eine radiale Striktion erfährt, kann das Flüssigmetall zusätzlich im Kontaktspalt stabilisiert und festgehalten werden. Äussere Magnetfelder und magnetische Streuflüsse, z. B. durch die Stromzuführungen, können im Flüssigmetall Strömungsinstabilitäten verursachen und werden abgeschirmt und gegebenenfalls beim Ausschalten zugelassen, um das Löschen des Lichtbogens im Flüssigmetall zu unterstützen. Nachteilig ist, dass eine graduelle Strombegrenzung nicht möglich ist und Lichtbogen zwischen den Festelektroden Oxidation im Flüssigmetall verursachen. Die Konstruktion des Hochstromschalters umfasst Dichtungen für Flüssigmetall, inertes Gas oder Vakuum und ist entsprechend aufwendig.

In der GB 1 206 786 wird ein elektrischer Hochstromschalter auf Flüssigmetallbasis gemäss Oberbegriff der unabhängigen Ansprüche offenbart. Das Flüssigmetall bildet in einer ersten Position einen ersten Strompfad für den Betriebsstrom und wird beim Stromschalten entlang eines Widerstandselements geführt und in eine zweite Position gebracht, in welcher es in Serie mit dem Widerstandselement liegt und den Strom auf einen kleinen Bruchteil reduziert. Der Hochstromschalter ist zur Erzeugung hochintensiver Strompulse im Mega-Ampere und sub-Millisekunden Bereich zur Plasmagenerierung konzipiert.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren, eine Vorrichtung und eine elektrische Schaltanlage mit einer solchen Vorrichtung zur verbesserten und vereinfachten Strombegrenzung anzugeben. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst.

In einem ersten Aspekt besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Strombegrenzung mit einer Strombegrenzungsvorrichtung, die Festelektroden und einen Behälter mit mindestens einem Kanal für ein Flüssigmetall umfasst, wobei in einem ersten Betriebszustand zwischen den Festelektroden ein Betriebsstrom auf einem ersten Strompfad durch die Strombegrenzungsvorrichtung geführt wird und der erste Strompfad zumindest teilweise durch das in einer ersten Position befindliche Flüssigmetall geführt wird, wobei in einem zweiten Betriebszustand das Flüssigmetall entlang einer Bewegungsrichtung in mindestens eine zweite Position bewegt wird, beim Übergang von der ersten Position zur zweiten Position entlang eines Widerstandselements geführt wird und in der mindestens einen zweiten Position in Serie mit einem Widerstandselement liegt und dadurch ein strombegrenzender zweiter Strompfad durch die Strombegrenzungsvorrichtung gebildet wird, der einen vorgebbaren elektrischen Widerstand aufweist, wobei der elektrische Widerstand als Funktion der zweiten Position sowie die Weg-Zeit Charakteristik des Flüssigmetalls entlang der Bewegungsrichtung so gewählt werden, dass in jeder zweiten Position des Flüssigmetalls das Produkt aus elektrischem Widerstand und Strom kleiner als eine Lichtbogenzündspannung zwischen dem Flüssigmetall und den Festelektroden und Zwischenelektroden ist und eine hinreichende Steilheit der Strombegrenzung zur Beherrschung netzbedingter Kurzschlussströme erzielt wird. Das erfindungsgemässe Strombegrenzungsverfahren ist zur Begrenzung netzbedingter Kurzschlüsse geeignet. Erfindungsgemäss verbleibt das Flüssigmetall im flüssigen Aggregatzustand und wird durch eine erzwungene Bewegung gezielt zwischen den unterschiedlichen Positionen bewegt. Der Pinch-Effekt wird dabei nicht genutzt. Sehr schnelle Strombegrenzungs-Reaktionszeiten von bis zu unter 1 ms sind erzielbar. Das Verfahren gibt Dimensionierungskriterien zur optimalen Auslegung der Dynamik des Strombegrenzungsvorgangs an. Da vom Flüssigmetall im Strombegrenzungsfal kein Isolator, sondern ein

geeignet dimensionierter elektrischer Widerstand benetzt und kontaktiert wird, wird kein Lichtbogen gezündet. Daher kann das Strombegrenzungsverfahren auch bei sehr hohen Spannungsniveaus eingesetzt werden. Dabei tritt kaum Verschleiss durch Abbrand oder Korrosion des Flüssigmetalls auf. Die Strombegrenzung erfolgt reversibel und ist daher wartungsfreundlich und kostengünstig.

In einem ersten Ausführungsbeispiel wird das Widerstandselement zur Erzielung einer sanften Abschaltcharakteristik mit einem entlang der Bewegungsrichtung des Flüssigmetalls nichtlinear ansteigenden elektrischen Widerstand für den zweiten Strompfad gewählt.

In weiteren Ausführungsbeispielen ist das Widerstandselement ohmsch und steigt der elektrische Widerstand kontinuierlich mit der zweiten Position an, und/oder der elektrische Widerstand wächst als Funktion der zweiten Position zunächst überproportional mit der zweiten Position, steigt dann linear mit der zweiten Position in einer Phase, in welcher die in einer Netzinduktivität gespeicherte Energie absorbiert werden muss, und geht dann in einem Bereich, in dem der Kurzschlussstrom bereits begrenzt wird und grössere elektrische Widerstände tolerabel werden, wieder in eine steiler, d. h. überproportional ansteigende Funktion der zweiten Position über. Auf diese Weise wird eine sanfte Strombegrenzungscharakteristik für eine progressive Strombegrenzung realisiert.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 4 hat den Vorteil einer kompakten Anordnung des Flüssigmetalls relativ zu den zu schaltenden Strompfaden.

Das Ausführungsbeispiel gemäss Anspruch 5 hat den Vorteil, dass durch eine Serieschaltung von Flüssigmetallsäulen abwechselnd mit einem Dielektrikum auch hohe Spannungen und hohe Ströme effizient und sicher gehandhabt werden können.

Ansprüche 6 und 8 geben besonders einfache Konfigurationen für einen strombegrenzenden Schalter oder Strombegrenzer mit integriertem Schalter mit Flüssigmetall an.

5 Anspruch 7 zeigt eine vorteilhafte, weil selbsttätige und zugleich selbsterholende Strombegrenzung.

In einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Strombegrenzung, insbesondere zur Ausführung des Verfahrens, umfassend Festelektroden und einen Behälter mit mindestens einem Kanal für ein Flüssigmetall, wobei in
10 einem ersten Betriebszustand zwischen den Festelektroden ein erster Strompfad für einen Betriebsstrom durch die Strombegrenzungsvorrichtung vorhanden ist und der erste Strompfad zumindest teilweise durch das in einer ersten Position befindliche Flüssigmetall führt, wobei elek-
15 trische Widerstandsmittel mit einem vorgebbaren elektrischen Widerstand vorhanden sind, Positionierungsmittel zum Bewegen und räumlichen Positionieren des Flüssigmetalls entlang einer Bewegungsrichtung entlang den Widerstandsmitteln in mindestens eine zweite Position vorhanden
20 sind, und in einem zweiten Betriebszustand das Flüssigmetall zumindest teilweise in Serie zu den Widerstandsmitteln liegt und zusammen mit diesen einen zweiten Strompfad bildet, auf dem der Betriebsstrom auf einen zu begrenzenden Strom begrenzbare ist, wobei der elektrische Widerstand
25 als Funktion der zweiten Position so dimensioniert ist und die Positionierungsmittel eine solche Weg-Zeit Charakteristik des Flüssigmetalls entlang der Bewegungsrichtung aufweisen, dass in jeder zweiten Position des Flüssigmetalls das Produkt aus elektrischem Widerstand und Strom
30 kleiner als eine Lichtbogenzündspannung zwischen dem Flüssigmetall und den Festelektroden und Zwischenelektroden ist und eine hinreichende Steilheit der Strombegrenzung zur Beherrschung netzbedingter Kurzschlussströme erzielbar ist.

Weitere Ausführungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus abhängigen Ansprüchen sowie aus der nun folgenden Beschreibung und den Figuren.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- 5 Fig. 1a, 1b zeigen eine erfindungsgemässe Strombegrenzungseinrichtung mit Flüssigmetall bei Nennstrombetrieb und im Strombegrenzungsfall;
- Fig. 2 zeigt einen strombegrenzenden Schalter in Form einer Serieanordnung von Flüssigmetall-
- 10 Strombegrenzer und Schalter;
- Fig. 3, 4 zeigen strombegrenzende Schalter mit Einfangmechanismen für Flüssigmetall bei Nennstrombetrieb;
- Fig. 5 zeigt eine Kurvendarstellung der Variation des Widerstands des Strombegrenzers als Funktion
- 15 der Position der Flüssigmetallsäule; und
- Fig. 6 zeigt einen kombinierten Flüssigmetall-Strombegrenzer und Flüssigmetall-Leistungsschalter mit Gasantrieb für das Flüssigmetall.
- 20 In den Figuren sind gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen versehen.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

- Fig. 1a, 1b zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Flüssigmetall-Strombegrenzers 1. Der Strombegrenzer 1 umfasst
- 25 Festmetall-Elektroden 2a, 2b und Zwischenelektroden 2c für eine Stromzuführung 20 und einen Behälter 4 für das Flüssigmetall 3. Der Behälter 4 hat einen Boden 6 und Deckel 6 aus Isolatormaterial, zwischen denen ein elektrisches Widerstandsmittel 5 mit mindestens einem Kanal 3a für das
- 30 Flüssigmetall 3 angeordnet ist. Über der Flüssigmetallsäule 3 kann beispielsweise ein Schutzgas, eine Isolierflüssigkeit (mit hier nicht dargestelltem Ausweichvolumen) oder Vakuum angeordnet sein.

In einem ersten Betriebszustand (Fig. 1a) fließt ein Betriebs- oder Nennstrom I_1 auf einem Nennstrompfad 30 von der Eingangselektrode 2a via Flüssigmetall 3 und gegebenenfalls Zwischenelektroden 2c zur Abgangselektrode 2b.

5 Dabei befindet sich das Flüssigmetall 3 in der ersten Position x_1 , benetzt zumindest teilweise die Festelektroden 2a, 2b, 2c und überbrückt elektrisch leitend die Kanäle 3a. In einem zweiten Betriebszustand (Fig. 1b) wird das Flüssigmetall 3 entlang der Bewegungsrichtung x, gegeben

10 durch eine Höhererstreckung der Kanäle 3a, in eine zweite Position x_2 bewegt, liegt dort in Serie zu dem elektrischen Widerstandsmittel 5 und bildet mit diesem einen zweiten Strompfad oder Strombegrenzungspfad 31 für einen zu begrenzenden Strom I_2 . Für eine besonders kompakte Anordnung

15 sind der Nennstrompfad 30 und der strombegrenzende zweite Strompfad 31 zueinander parallel und beide senkrecht zu der Höhererstreckung der Kanäle 3a auf einer variablen, durch die zweite Position x_2 des Flüssigmetalls 3 vorgebbaren Höhe angeordnet. Für eine lichtbogenfreie Kommu-
20 tation des Stroms $i(t)$ von den Festelektroden 2a, 2b, 2c zum Widerstandselement 5 soll eine typische, vom Kontaktmaterial abhängige, minimale Lichtbogenzündspannung von 10 V - 20 V nicht überschritten werden.

Bevorzugt umfasst das Widerstandsmittel 5 eine dielektri-
25 sche Matrix 5, die wandartige Stege 5a zur dielektrischen Trennung einer Mehrzahl von Kanälen 3a für das Flüssigmetall 3 aufweist, wobei die Stege 5a ein dielektrisches Material mit in der Bewegungsrichtung x nichtlinear zunehmendem Widerstand R_x aufweisen. Die Stege 5a sollen auf Hö-
30 he der ersten Position x_1 des Flüssigmetalls 3 Zwischenelektroden 2c zur elektrisch leitenden Verbindung der Kanäle 3a aufweisen. Die Kanäle 3a sind vorzugsweise im wesentlichen parallel zueinander angeordnet. Die wandartigen Stege 5a stellen Einzelwiderstände 5a des Widerstandsele-
35 ments 5 dar, so dass der strombegrenzende zweite Strompfad 31 durch eine alternierende Serieschaltung der Kanäle 3a und der Einzelwiderstände 5a gebildet wird.

Die Positionierungsmittel 3a; 20, B, 12 zum Bewegen und räumlichen Positionieren des Flüssigmetalls 3 entlang einer Bewegungsrichtung x in mindestens eine zweite Position x_{12} , x_2 umfassen die Kanäle 3a und ein Transport- oder Antriebsmittel 20, B, 12 für das Flüssigmetall 3, insbesondere auch eine Antriebssteuerung 11 (wie in Fig. 6 dargestellt). Bevorzugt ist ein elektromagnetischer Antrieb 20, B oder ein mechanischer Antrieb mit einem dielektrischen Fluid 12 vorhanden, durch den das Flüssigmetall 3 zwischen
10 Nennstrompfad 30 und Strombegrenzungspfad 31 bewegbar ist.

Bei einem Übergang von der ersten Position x_1 zur zweiten Position x_{12} , x_2 , insbesondere zu einer extremalen zweiten Position x_2 , wird das Flüssigmetall 3 entlang des Widerstandselements 5 geführt. Zur Erzielung einer sanften Abschaltcharakteristik weist das Widerstandselement 5 einen
15 entlang der Bewegungsrichtung x des Flüssigmetalls 3 nichtlinear ansteigenden elektrischen Widerstand R_x für den zweiten Strompfad 31 auf. Das Widerstandselement 5 soll einen ohmschen Anteil aufweisen und ist bevorzugt rein
20 ohmsch mit einem elektrischen Widerstand R_x , der kontinuierlich mit der zweiten Position x_{12} , x_2 ansteigt.

Typischerweise wird der zweite Betriebszustand durch einen Überstrom ausgelöst. Bevorzugt wird die Strombegrenzung selbsttätig aktiviert, insbesondere durch elektromagnetische Kraft F_{mag} , die auf das stromdurchflossene Flüssigmetall 3 wirkt, wobei das Flüssigmetall 3 in einem externen Magnetfeld B oder in einem internen, durch eine Stromzuführung 2a, 2b; 20 erzeugten Magnetfeld B angeordnet ist.

30 Fig. 2 zeigt den erfindungsgemässen Strombegrenzer 1 in Serie geschaltet mit einem elektrischen Schalter 7, insbesondere einem Leistungsschalter 7. In dieser Anordnung wird ein strombegrenzender Schalter 1, 7 realisiert, bei dem die Strombegrenzung vorgängig durch das erfindungsgemässe Verfahren mit Flüssigmetall 3 und danach eine Stromabschaltung konventionell erfolgt. Bei elektromagnetischem
35 Antrieb des Flüssigmetalls 3 können auch zwei Strombegren-

zer 1 mit gegenphasig wirksamer Auslösung der Flüssigmetallbewegung hintereinander geschaltet sein, um in jeder Stromhalbwellenperiode eine Strombegrenzung und gegebenenfalls Stromabschaltung zu erreichen.

- 5 Fig. 3 zeigt eine Variante des Strombegrenzers 1, bei welcher ein Einfangbehälter 3b zur Aufnahme des Flüssigmetalls 3 und zur Schaffung einer Isolationsstrecke 32 zur Stromabschaltung vorhanden ist. Zudem kann, wie dargestellt, eine Zuführung 3c für Flüssigmetall 3 zum
- 10 Auffüllen des Flüssigmetalls 3 in den Kanälen 3a und zum Wiederanschalten der Vorrichtung 1 vorhanden sein. Zudem kann zusätzlich zum Nennstrompfad 30 und zum Strombegrenzungspfad 31 eine Isolationsstrecke 32 vorgesehen sein, auf welcher die Stege 5a zur Strombegrenzung in Stege 8a
- 15 zur Stromisolation übergehen. Die Isolationsstege 8a bestehen im wesentlichen aus Isolationsmaterial, sind vorzugsweise im Bereich des Einfangbehälters 3c angeordnet und bilden zusammen mit den durch das eingefangene Flüssigmetall 3 entleerten Kanälen die Isolationsstrecke 32.
- 20 Fig. 4 zeigt eine weitere Variante, bei welcher die Isolationsstrecke 32 ohne Einfangbehälter 3b realisiert ist. Hier ist der Antriebsmechanismus für das Flüssigmetall 3 durch einen Rotationsantrieb 11' für den Strombegrenzer 1 realisiert. Im zweiten Betriebszustand wird die Vorrichtung
- 25 1 mit einer vorgebbaren Rotationsgeschwindigkeit so rotiert, dass durch das Gleichgewicht zwischen Reibungs- und Kapillarkräften einerseits und der Zentrifugalkraft andererseits das Flüssigmetall 3 eine zweite Position x_{12} im Bereich des Widerstandselements 5 einnimmt und einen
- 30 Strombegrenzungspfad 31 bildet. Durch Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit und damit der Zentrifugalkraft wird das Flüssigmetall 3 in den Bereich der Isolationsstege 8a gedrängt und bildet zusammen mit diesen die Isolationsstrecke 32. Da das Flüssigmetall leitfähig ist, sind hier die
- 35 Anforderungen an die dielektrische Festigkeit der Isolationsstege 8a erhöht, was z. B. durch breitere Isolations-

stege 8a und/oder eine geeignete Materialwahl erreicht wird.

Bei beiden Varianten ist also das Flüssigmetall 3 zwischen dem Nennstrompfad 30, dem Strombegrenzungspfad 31 und der Isolationsstrecke 32 zur Stromabschaltung bewegbar, so dass ein integrierter strombegrenzender Schalter 1 auf Flüssigmetallbasis realisiert ist. Vorteilhaft sind der erste Strompfad 30 für Betriebsstrom I_1 , der zweite Strompfad 31 zur Strombegrenzung und insbesondere die Isolationsstrecke 32 im wesentlichen senkrecht zur Bewegungsrichtung x und/oder im wesentlichen parallel zueinander angeordnet. Dies ergibt eine besonders einfache Konfiguration für einen integrierten Strombegrenzer - Leistungsschalter 1, der ausschliesslich mit Flüssigmetall 3 arbeitet.

Fig. 5 zeigt für den Strombegrenzer 1 oder strombegrenzenden Schalter 1 eine Dimensionierung des elektrischen Widerstands R_x als Funktion der zweiten Position x_{12} des Flüssigmetalls 3. Mit Vorteil wird der Widerstand R_x bis zu einer extremalen zweiten Position x_2 auf einen Maximalwert $R_x(x_2)$ nichtlinear ansteigend gewählt. Auch soll für ein gegebenes Spannungsniveau der Maximalwert $R_x(x_2)$ des Widerstands R_x nach Massgabe eines zu begrenzenden Stroms I_2 auf einen endlichen Wert oder zur Abschaltung des Betriebsstroms I_1 auf einen dielektrischen Isolationswert bemessen werden.

Der elektrische Widerstand R_x als Funktion $R_x(x_{12})$ der zweiten Position x_{12} sowie eine Weg-Zeit Charakteristik $x_{12}(t)$ des Flüssigmetalls 3 entlang der Bewegungsrichtung x sollen so gewählt werden, dass in jeder zweiten Position x_{12} , x_2 des Flüssigmetalls 3 das Produkt aus elektrischem Widerstand R_x und Strom I_2 kleiner als eine Lichtbogenzündspannung U_b zwischen dem Flüssigmetall 3 und den Festelektroden 2a, 2b und Zwischenelektroden 2c ist und/oder dass eine hinreichende Steilheit der Strombegrenzung zur Beherrschung netzbedingter Kurzschlussströme $i(t)$ erzielt wird.

Zur Beherrschung von Kurzschlüssen ist ein von Stromnetz-Parametern und dem Durchbruchverhalten der zu trennenden Kontakte 2a, 2b abhängiger Widerstand R_x der Strombegrenzung notwendig. Je grösser die Steilheit des Kurzschlussstroms $i(t)$ ist, um so niedriger muss R_x gewählt werden. Im ungünstigsten Fall sind die maximale Kurzschlussstrom-Amplitude und die maximale Kurzschlussstrom-Induktivität anzunehmen. Dann gilt:

$$R_x(t) \cdot i(t) < U_b(t) \quad (G1)$$

$$R_x(t) \cdot i(t) + L \cdot di/dt(t) = U_N(t) \quad (G2)$$

wobei t =Zeitvariable, L =Netzinduktivität im Kurzschlussfall, U_N =Betriebs- oder Netzspannung, d/dt gleich erste und d^2/dt^2 gleich zweite Zeitableitung. In Gleichung (G2) wurde angenommen, dass der Widerstand im Netz $R_{Netz} \ll L$ ist und die Netzspannung U_N bei Kurzschluss aufrechterhalten wird. Ferner gilt die Bewegungsgleichung (G3) für das Flüssigmetall 3 mit der Masse m , der Position oder Auslenkung $x_{12}(t)$, dem Reibungskoeffizienten α und der antreibenden Kraft F

$$m \cdot d^2 x_{12}/dt^2 + \alpha \cdot dx_{12}/dt(t) = F - F_r, \quad (G3)$$

wobei F_r =Rückstellkraft, insbesondere gleich Gravitationskraft $F_r = m \cdot g$ mit g =Erdbeschleunigung. In Fig. 5 wurde beispielhaft eine elektromagnetische Kraft $F = F_{mag}$ angenommen, die durch Selbstwechselwirkung des durchfliessenden Stroms $i(t)$ auf das Flüssigmetall 3 ausgeübt wird. Dann gilt zusätzlich

$$F = k \cdot i^2(t) \quad (G4)$$

mit k =geometrieabhängige Proportionalitätskonstante. Bei externem Magnetfeld B gilt $F = k' \cdot i(t)$ mit k' =weitere Proportionalitätskonstante. Bei mechanischem Antrieb gilt F =mechanisch erzeugte Druckkraft auf Flüssigmetall 3, die z. B. durch Steuerung oder Regelung in Abhängigkeit eines abzuschaltenden Stroms $i(t)$ oder eines Überstroms $i(t)$ gewählt werden kann.

In Fig. 5 wurden beispielhaft angenommen: eine kurzschlussbedingte Stromsteilheit $di/dt=15$ kA/ms, $U_N=1$ kV,

$I_1=1$ kA, maximaler Kurzschlussstrom $I_2=50$ kA sowie plausible Parameterwerte für k , m und α . Dann ergeben sich durch Lösen der Gleichungen (G2)-(G4) unter der Randbedingung (G1) der Widerstand $R_x(t)$ und die Weg-Zeitcharakteristik $x_{12}(t)$ des Flüssigmetalls 3 und schliesslich durch Elimination der Zeitabhängigkeit der Widerstand $R_x(x_{12})$ als Funktion der zweiten Position x_{12} , wie in Fig. 5 logarithmisch dargestellt. Ausgehend von der ersten Position x_1 , d. h. bei Ablösung des Flüssigmetalls 3 von den Festelektroden 2a, 2b, 2c, nimmt R_x zunächst überproportional mit der zweiten Position x_{12} zu, steigt dann linear in einer Phase, in welcher die in der Netzinduktivität L gespeicherte Energie absorbiert werden muss und geht dann in einem Bereich, in dem der Strom i bereits begrenzt ist und grössere R_x tolerabel werden, wieder in einen steileren, d. h. überproportionalen Anstieg $R_x(x_{12})$ über.

Ein solcher, mit der Wegstrecke x nichtlinear ansteigender Widerstand R_x kann beispielsweise durch Materialien mit unterschiedlichen spezifischen Widerständen realisiert werden. Ein nichtlinear ansteigender Gesamtwiderstand R_x kann auch durch eine geeignete geometrische Führung des Strompfades in einem Widerstandselement mit homogenem spezifischen Widerstand realisiert sein. Die nichtlineare Graduierung des Widerstands R_x kann auch durch Kombination beider Massnahmen, nämlich durch eine geeignete geometrische Stromführung in einem Widerstandselement mit variablem spezifischen Widerstand, erreicht werden.

Fig. 6 zeigt einen kombinierten Flüssigmetall-Strombegrenzer 1 und Flüssigmetall-Leistungsschalter 1 mit Gasantrieb 12 für das Flüssigmetall 3. Bei einer Verschiebung des Flüssigmetalls 3 in positive Bewegungsrichtung $+x$ wird der Strom i auf dem Strombegrenzungspfad 31 geführt und wie oben diskutiert begrenzt. Alternativ kann das Flüssigmetall 3 in einem dritten Betriebszustand entlang der entgegengesetzten Bewegungsrichtung $-x$ in mindestens eine dritte Position x_{13} , x_3 bewegt werden, wobei das Flüssigmetall 3 in der mindestens einen dritten Position x_{13} , x_3

in Serie mit einem Isolator 8 liegt und dadurch eine Isolationsstrecke 32 zur Leistungsabschaltung durch die Vorrichtung 1 gebildet wird. Wie dargestellt kann die Isolationsstrecke 8 durch eine Mehrzahl von Isolationsstegen 5 8a gebildet sein, die im Abschaltfall in alternierender Serieschaltung mit den nach unten verschobenen Flüssigmetallsäulen 3 stehen. Insbesondere wird der dritte Betriebszustand durch einen Abschaltbefehl ausgelöst, wobei das Flüssigmetall 3 durch einen elektromagnetischen Antrieb mit schaltbarem externen Magnetfeld B oder durch einen mechanischen Antrieb mit einem dielektrischen Fluid 12 bewegt wird. In Fig. 6 ist beispielhaft ein Gasantrieb 10 12 angegeben, bei dem ein erster Gasdruckbehälter 121 mit Gas unter Volumen V_1 und Druck p_1 und ein zweiter Gasdruckbehälter 15 122 mit Gas unter Volumen V_2 und Druck p_2 über je ein steuerbares Gasdruckventil 13 mit dem Arbeitsdruckbehälter 123 mit Arbeitsvolumen V_3 und Arbeitsdruck p_3 kommunizieren. Es kann auch ein kombiniertes Ventil, z. B. ein Dreiweg-Ventil, statt zweier separater Ventile 13 vorgesehen sein. Durch Wahl passender Drücke, z. B. $p_1 < p_2$, und Aktivierung der Ventile 13 kann zwischen dem ersten, zweiten und dritten Betriebszustand gezielt hin- und hergeschaltet werden. Beispielsweise wird zur Strombegrenzung 31 Gas aus 121 mit Druck p_1 in das Arbeitsvolumen V_3 eingeströmt und 25 die Flüssigmetallsäulen 3 steigen auf x_{12} oder x_2 . Für Nennstrombetrieb 30 wird zeitweise Gas aus 122 eingeströmt und der Flüssigmetallspiegel wird auf $x=0$ gesenkt. Zur Leistungsabschaltung 32 wird der Behälter 122 mit Druck p_2 geöffnet und das Flüssigmetall 3 auf die dritte Position 30 x_{13} oder extremale dritte Position x_3 gesenkt. Das eingeschlossene Gas im Einschlussvolumen 124 bewirkt eine rücktreibende Federkraft. Weitere Details und Varianten des Gasantriebs 12, z. B. drei Druckbehälter mit drei unterschiedlichen Drücken jeweils für einen der drei 35 Betriebszustände und insbesondere Anschluss des Volumens 124 an einen Druckbehälter, sind möglich und seien hiermit ausdrücklich mitumfasst. Alternativ oder ergänzend zu

Druckbehältern 121, 122 kann der Flüssigmetallantrieb auch magnetisch mit externem oder internem Magnetfeld B oder mechanisch mit Kolben ausgeführt sein. Alternativ oder ergänzend zu Gas kann auch ein anderes dielektrisches Arbeitsfluid, z. B. Öl, verwendet werden. Als Flüssigmetall 3 geeignet sind z. B. Quecksilber, Gallium, Cäsium, GaInSn o. ä..

Mit Vorteil ist die Isolationsstrecke 32 zur Stromabschaltung oberhalb des zweiten Strompfads 31 und/oder unterhalb des ersten Strompfads 30 angeordnet. Dadurch wird eine kompakte Anordnung des Flüssigmetalls 3 und seines Antriebmechanismus 12 relativ zu den zu schaltenden Strömen, insbesondere zum Nennstrompfad 30, Strombegrenzungspfad 31 und gegebenenfalls Stromabschaltungspfad 32, realisiert. Auch kann der Strombegrenzer 1 in Fig. 6 auch als strombegrenzender Schalter 1, wie beschrieben, ausgelegt sein.

Anwendungen der Vorrichtung 1 betreffen u.a. den Einsatz als Strombegrenzer, strombegrenzender Schalter und/oder Leistungsschalter 1 in Stromversorgungsnetzen, als selbsterholende Sicherung oder als Motorstarter. Die Erfindung umfasst auch eine elektrische Schaltanlage, insbesondere eine Hoch- oder Mittelspannungsschaltanlage, gekennzeichnet durch eine Vorrichtung 1 wie oben beschrieben.

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Flüssigmetall-Strombegrenzer
2a, 2b	Festmetall-Elektroden, Metallplatten
2c	Zwischenelektroden
5	20 Stromzuführung, Stromleiter
3	Flüssigmetall
3a	Kanäle für Flüssigmetall
3b	Einfangbehälter für Flüssigmetall
3c	Zuführung für Flüssigmetall
10	30 Strompfad für Betriebsstrom, erster Strompfad
31	Strompfad für Strombegrenzung, zweiter Strompfad
32	Stromunterbrechungspfad, Isolationsstrecke
4	Flüssigmetall-Behälter
5	Widerstandselement für Strombegrenzung, Wider-
15	standsmatrix für Flüssigmetall
5a	Einzelwiderstände
6	Isolator, Behälterdeckel, Gehäusewand
7	Schalter, Leistungsschalter
8	Isolator für Stromunterbrechung
20	8a Einzelisolatoren
9	flexible Membran
10	Ventil für Flüssigmetallzuführung
11	Antriebssteuerung, Magnetfeldsteuerung
11'	Rotationsbewegung
25	12 Gasantrieb für Flüssigmetall
121-124	Gasdruckbehälter
13	Gasdruckventile
α	Reibungskoeffizient
30	B Magnetfeld
F_{mag}	magnetische Kraft
F_r	Rückstellkraft
i	Strom
I_1	Betriebsstrom
35	I_2 begrenzter Überstrom
k	Proportionalitätskonstante

	L	Netzinduktivität
	P_1, P_2, P_3	Gasdruck
	R_x	Widerstand des Strombegrenzers
	t	Zeitvariable
5	U_b	Lichtbogenzündspannung
	U_N	Netzspannung, Betriebsspannung
	V_1, V_2, V_3	Gasvolumen
	$x, x_1, x_2, x_{12}, x_3, x_{13}$	Position der Flüssigmetallsäule

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Strombegrenzung (1), insbesondere in Stromversorgungsnetzen, mit einer Strombegrenzungsvorrichtung (1), die Festelektroden (2a, 2b) und einen Behälter (4) mit mindestens einem Kanal (3a) für ein Flüssigmetall (3) umfasst, wobei in einem ersten Betriebszustand zwischen den Festelektroden (2a, 2b) ein Betriebsstrom (I_1) auf einem ersten Strompfad (30) durch die Strombegrenzungsvorrichtung (1) geführt wird und der erste Strompfad (30) zumindest teilweise durch das in einer ersten Position (x_1) befindliche Flüssigmetall (3) geführt wird, wobei in einem zweiten Betriebszustand das Flüssigmetall (3) entlang einer Bewegungsrichtung (x) in mindestens eine zweite Position (x_{12} , x_2) bewegt wird, beim Übergang von der ersten Position (x_1) zur zweiten Position (x_{12} , x_2) entlang eines Widerstandselements (5) geführt wird und in der mindestens einen zweiten Position (x_{12} , x_2) in Serie mit dem Widerstandselement (5) liegt und dadurch ein strombegrenzender zweiter Strompfad (31) durch die Strombegrenzungsvorrichtung (1) gebildet wird, der einen vorgebbaren elektrischen Widerstand (R_x) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Widerstand (R_x) als Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) sowie die Weg-Zeit Charakteristik ($x_{12}(t)$) des Flüssigmetalls (3) entlang der Bewegungsrichtung (x) so gewählt werden, dass
- a) in jeder zweiten Position (x_{12} , x_2) des Flüssigmetalls (3) das Produkt aus elektrischem Widerstand (R_x) und Strom (I_2) kleiner als eine Lichtbogenzündspannung (U_b) zwischen dem Flüssigmetall (3) und den Festelektroden (2a, 2b) und Zwischenelektroden (2c) ist und
 - b) eine hinreichende Steilheit der Strombegrenzung zur Beherrschung netzbedingter Kurzschlussströme ($i(t)$) erzielt wird.

2. Das Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Widerstandselement (5) zur Erzielung einer sanften Abschaltcharakteristik mit einem entlang der Bewegungsrichtung (x) des Flüssigmetalls (3) nicht-linear ansteigenden elektrischen Widerstand (R_x) für den zweiten Strompfad (31) gewählt wird.
3. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- a) das Widerstandselement (5) ohmsch ist und der elektrische Widerstand (R_x) kontinuierlich mit der zweiten Position (x_{12} , x_2) ansteigt und/oder
- b) der elektrische Widerstand (R_x) als Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) zunächst überproportional mit der zweiten Position (x_{12}) zunimmt, dann linear mit der zweiten Position (x_{12}) in einer Phase steigt, in welcher die in einer Netzinduktivität gespeicherte Energie absorbiert werden muss, und dann in einem Bereich, in dem der Kurzschlussstrom ($i(t)$) bereits begrenzt wird und grössere elektrische Widerstände (R_x) tolerabel werden, wieder in eine überproportional ansteigende Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) übergeht.
4. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- a) die Bewegungsrichtung (x) des Flüssigmetalls (3) durch eine Höhererstreckung des mindestens einen Kanals (3a) vorgegeben wird und/oder
- b) der strombegrenzende zweite Strompfad (31) im wesentlichen senkrecht zu einer Höhererstreckung des mindestens einen Kanals (3a) und auf einer variablen, durch die zweite Position (x_{12} , x_2) des Flüssigmetalls (3) vorgebbaren Höhe verläuft.

5. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 a) eine Mehrzahl von Kanälen (3a) zueinander im wesentlichen parallel angeordnet sind und durch wandartige Stege (5a) voneinander getrennt werden,
- b) wobei die Stege (5a) Einzelwiderstände (5a) des Widerstandselements (5) bilden und der strombegrenzende zweite Strompfad (31) durch eine alternierende Serieschaltung der Kanäle (3a) und der Einzelwiderstände (5a) gebildet wird und
- 10 c) insbesondere dass die Stege (5a) auf einer Höhe der Festelektroden (2a, 2b) Zwischenelektroden (2c) zum Durchleiten des Betriebsstroms (I_1) aufweisen.

15 6. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der elektrische Widerstand (R_x) bis zu einer extremalen zweiten Position (x_2) auf einen Maximalwert ($R_x(x_2)$) ansteigt und/oder
- 20 b) für ein gegebenes Spannungsniveau ein Maximalwert ($R_x(x_2)$) des elektrischen Widerstands (R_x) nach Massgabe eines zu begrenzenden Stroms (I_2) auf einen endlichen Wert oder zur Abschaltung des Betriebsstroms (I_1) auf einen dielektrischen Isolationswert bemessen wird.

25 7. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der zweite Betriebszustand durch einen Überstrom (I_2) ausgelöst wird und/oder
- 30 b) die Strombegrenzung selbsttätig aktiviert wird, insbesondere durch elektromagnetische Kraft (F_{mag}), die auf das stromdurchflossene Flüssigmetall (3) wirkt, wobei das Flüssigmetall (3) in einem externen Magnetfeld (B) oder in einem internen, durch eine Stromzuführung (2a, 2b; 20) erzeugten Magnetfeld (B) angeordnet wird.
- 35

8. Das Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einem dritten Betriebszustand

a) das Flüssigmetall (3) entlang einer entgegengesetzten Bewegungsrichtung (-x) in mindestens eine dritte Position (x_{13} , x_3) bewegt wird und

b) das Flüssigmetall (3) in der mindestens einen dritten Position (x_{13} , x_3) in Serie mit einem Isolator (8) liegt und dadurch eine Isolationsstrecke (32) zur Leistungsabschaltung durch die Vorrichtung (1) gebildet wird und

c) insbesondere dass der dritte Betriebszustand durch einen Abschaltbefehl ausgelöst wird und das Flüssigmetall (3) durch einen elektromagnetischen Antrieb mit schaltbarem externen Magnetfeld (B) oder durch einen mechanischen Antrieb mit einem dielektrischen Fluid (12), insbesondere durch einen Gasantrieb (12), bewegt wird.

9. Vorrichtung zur Strombegrenzung (1), insbesondere zur Ausführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, umfassend Festelektroden (2a, 2b) und einen Behälter (4) mit mindestens einem Kanal (3a) für ein Flüssigmetall (3), wobei in einem ersten Betriebszustand zwischen den Festelektroden (2a, 2b) ein erster Strompfad (30) für einen Betriebsstrom (I_1) durch die Strombegrenzungsvorrichtung (1) vorhanden ist und der erste Strompfad (30) zumindest teilweise durch das in einer ersten Position (x_1) befindliche Flüssigmetall (3) führt, wobei elektrische Widerstandsmittel (5) mit einem vorgebbaren elektrischen Widerstand (R_x) vorhanden sind, Positionierungsmittel (3a; 20, B, 12, 11) zum Bewegen und räumlichen Positionieren des Flüssigmetalls (3) entlang einer Bewegungsrichtung (x) entlang den Widerstandsmitteln (5) in mindestens eine zweite Position (x_{12} , x_2) vorhanden sind, und in einem zweiten Betriebszustand das Flüssigmetall (3) zumindest teilweise in Serie zu den Widerstandsmitteln (5) liegt

und zusammen mit diesen einen zweiten Strompfad (31) bildet, auf dem der Betriebsstrom (I_1) auf einen zu begrenzenden Strom (I_2) begrenzbare ist, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Widerstand (R_x) als Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) so dimensioniert ist und die Positionierungsmittel (3a; 20, B, 12, 11) eine solche Weg-Zeit Charakteristik ($x_{12}(t)$) des Flüssigmetalls (3) entlang der Bewegungsrichtung (x) aufweisen, dass

- a) in jeder zweiten Position (x_{12} , x_2) des Flüssigmetalls (3) das Produkt aus elektrischem Widerstand (R_x) und Strom (I_2) kleiner als eine Lichtbogenzündspannung (U_b) zwischen dem Flüssigmetall (3) und den Festelektroden (2a, 2b) und Zwischenelektroden (2c) ist und
- b) eine hinreichende Steilheit der Strombegrenzung zur Beherrschung netzbedingter Kurzschlussströme ($i(t)$) erzielbar ist.

10. Die Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Widerstandsmittel (5) zur Erzielung einer sanften Abschaltcharakteristik einen entlang der Bewegungsrichtung (x) des Flüssigmetalls (3) nicht-linear ansteigenden elektrischen Widerstand (R_x) für den zweiten Strompfad (31) aufweisen.

11. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9-10, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) das Widerstandselement (5) ohmsch ist und der elektrische Widerstand (R_x) kontinuierlich mit der zweiten Position (x_{12} , x_2) ansteigt und/oder
- b) der elektrische Widerstand (R_x) als Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) zunächst überproportional mit der zweiten Position (x_{12}) zunimmt, dann linear mit der zweiten Position (x_{12}) in einer Phase steigt, in welcher die in einer Netzinduktivität gespeicherte Energie absorbiert werden muss, und dann in einem Bereich, in dem der Kurzschluss-

strom ($i(t)$) bereits begrenzt wird und grössere elektrische Widerstände (R_x) tolerabel werden, wieder in eine überproportional ansteigende Funktion ($R_x(x_{12})$) der zweiten Position (x_{12}) übergeht.

5 12. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9-11, dadurch gekennzeichnet, dass

- 10 a) das Widerstandsmittel (5) eine dielektrische Matrix (5) umfasst, die wandartige Stege (5a) zur dielektrischen Trennung der Kanäle (3a) für das Flüssigmetall (3) aufweist und die Stege (5a) ein dielektrisches Material mit in der Bewegungsrichtung (x) nichtlinear zunehmendem Widerstand (R_x) aufweisen und die Stege (5a) auf Höhe der ersten Position (x_1) des Flüssigmetalls (3) Zwischenelektroden (2c)
- 15 zur elektrisch leitenden Verbindung der Kanäle (3a) aufweisen und/oder
- b) ein Einfangbehälter (3b) zur Aufnahme des Flüssigmetalls (3) und zur Schaffung einer Isolationsstrecke (32) zur Stromabschaltung vorhanden ist
- 20 und/oder
- c) eine Zuführung (3c) für Flüssigmetall (3) zum Auffüllen des Flüssigmetalls (3) in den Kanälen (3a) und zum Wiederanschalten der Vorrichtung (1) vorhanden ist.

25 13. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9-12, dadurch gekennzeichnet, dass die Positionierungsmittel (3a; 20, B, 12, 11) die Kanäle (3a) und ein Antriebsmittel (20, B, 12, 11) für das Flüssigmetall (3), insbesondere einen elektromagnetischen Antrieb (20, B, 11) oder

30 einen mechanischen Antrieb mit einem dielektrischen Fluid (12, 11), umfassen, durch den das Flüssigmetall (3) zwischen dem ersten Strompfad (30) für Betriebsstrom (I_1) und dem zweiten Strompfad (31) zur Strombegrenzung und insbesondere einer Isolationsstrecke

35 (32) zur Stromabschaltung bewegbar ist.

14. Die Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9-13, dadurch gekennzeichnet, dass

5 a) der erste Strompfad (30) für Betriebsstrom (I_1),
der zweite Strompfad (31) zur Strombegrenzung und
insbesondere eine Isolationsstrecke (32) zur Strom-
abschaltung im wesentlichen senkrecht zur Bewe-
gungsrichtung (x) und/oder im wesentlichen parallel
zueinander angeordnet sind und/oder

10 b) mindestens eine Isolationsstrecke (32) zur Stromab-
schaltung oberhalb des zweiten Strompfads (31)
und/oder unterhalb des ersten Strompfads (30) ange-
ordnet ist.

15 15. Elektrische Schaltanlage, insbesondere Hoch- oder Mit-
telspannungsschaltanlage, gekennzeichnet durch eine
Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9-14.

1 / 3

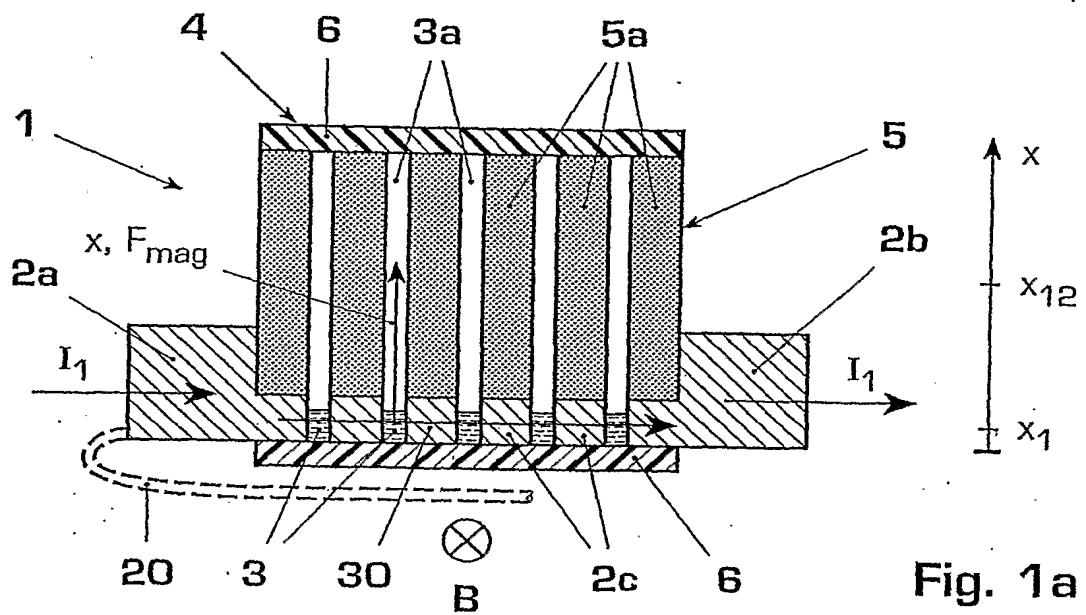


Fig. 1a

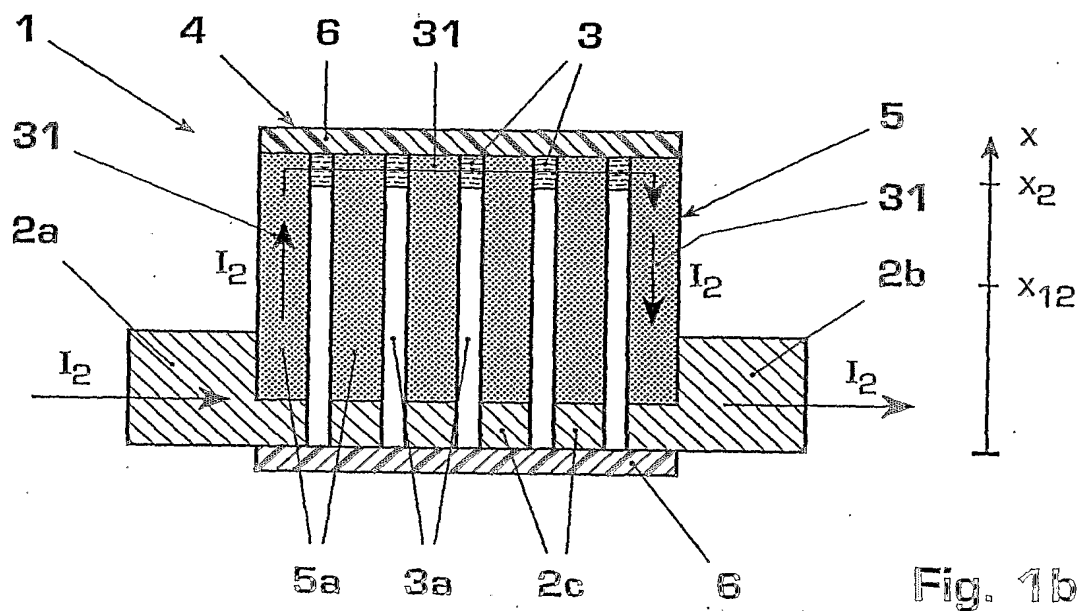


Fig. 1b

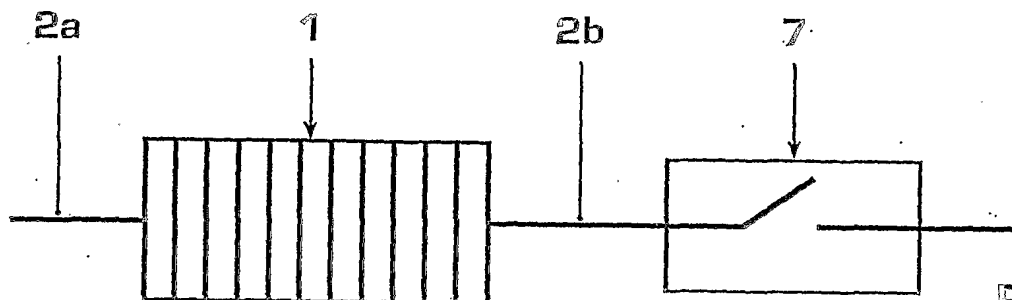


Fig. 2

2 / 3

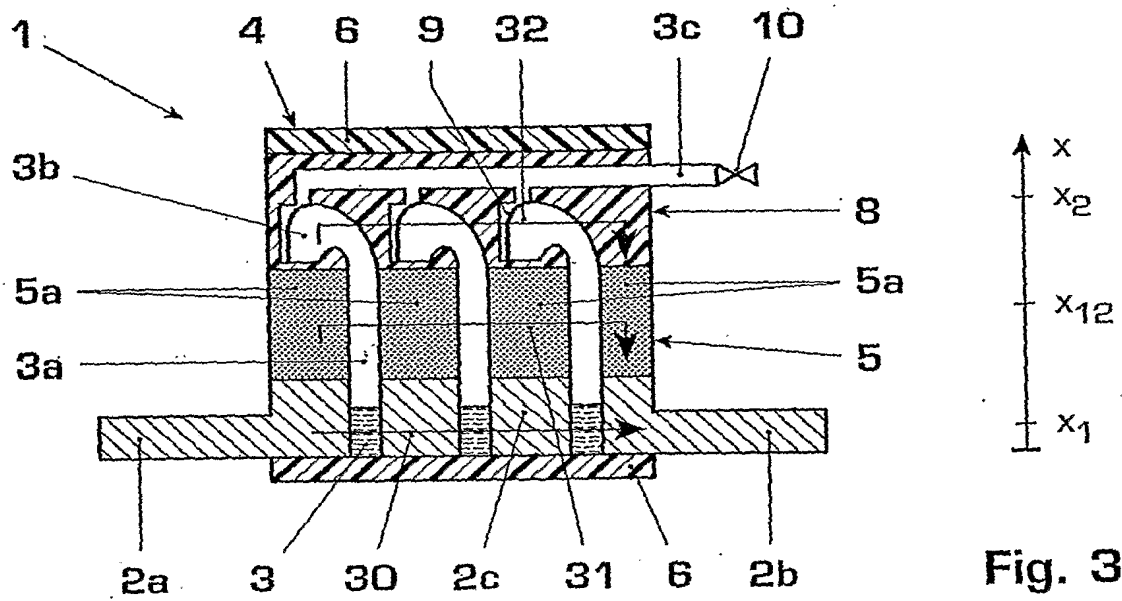


Fig. 3

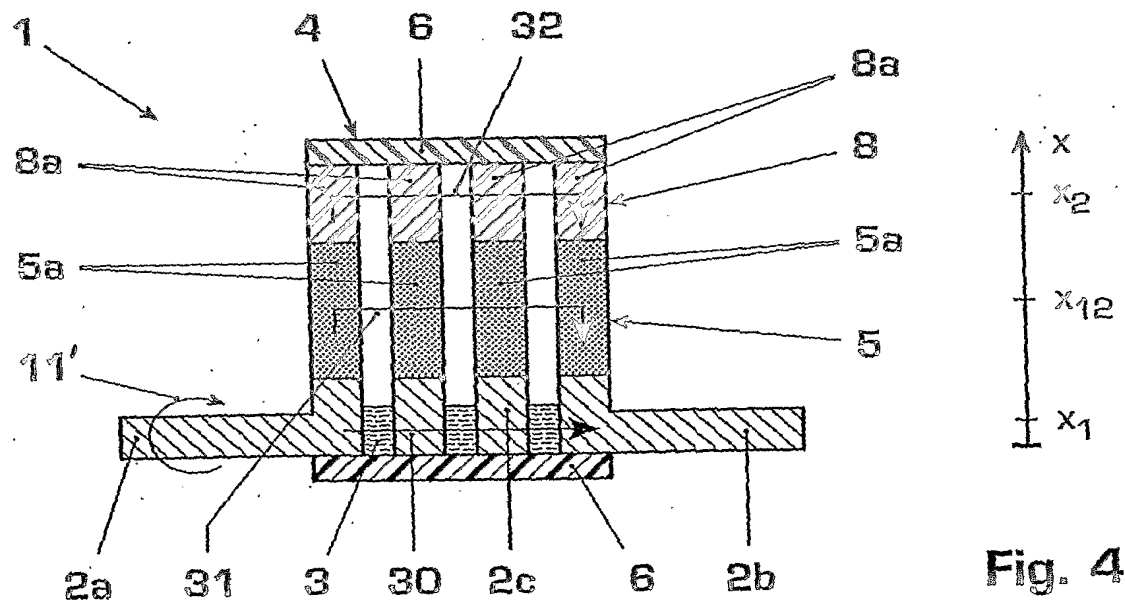


Fig. 4

3 / 3

$R [\Omega]$

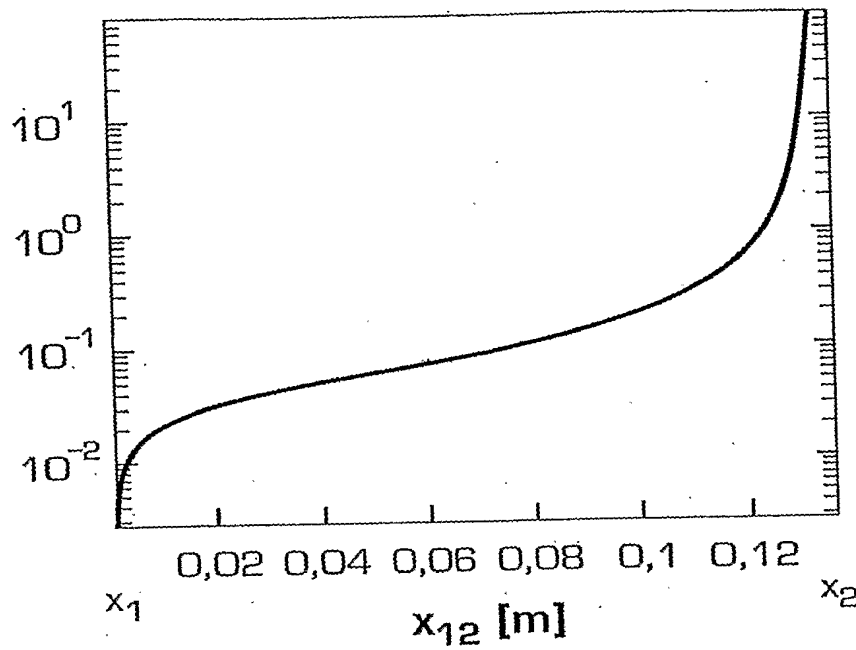


Fig. 5

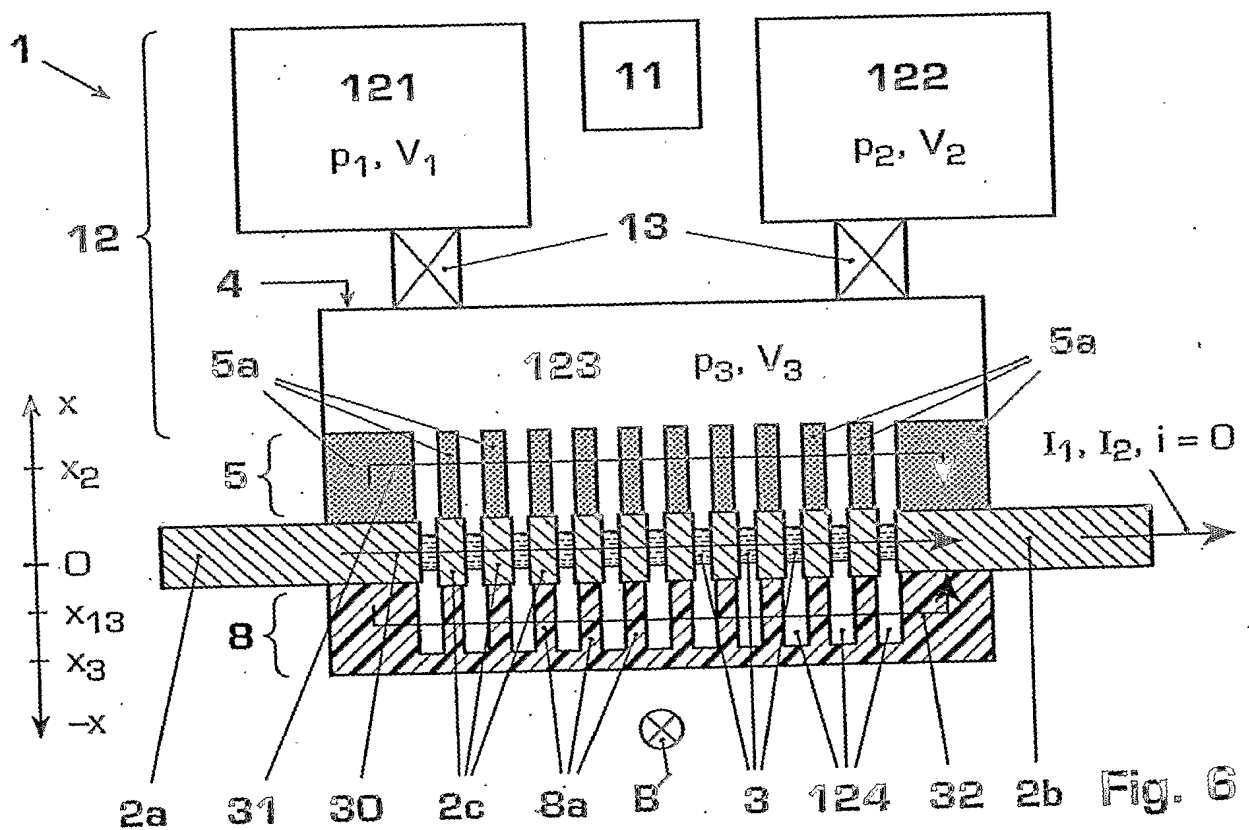


Fig. 6

PUB-NO: WO2005006375A2
DOCUMENT-IDENTIFIER: WO 2005006375 A2
TITLE: METHOD AND DEVICE FOR
LIMITING THE CURRENT IN A
LIQUID METAL CURRENT LIMITER
PUBN-DATE: January 20, 2005

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
-------------	----------------

NIAYESH, KAVEH	CH
----------------	----

KOENIG, FRIEDRICH	CH
-------------------	----

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
-------------	----------------

ABB RESEARCH LTD	CH
------------------	----

NIAYESH KAVEH	CH
---------------	----

KOENIG FRIEDRICH	CH
------------------	----

APPL-NO: CH2004000416

APPL-DATE: July 1, 2004

PRIORITY-DATA: EP03405518A (July 10, 2003)

INT-CL (IPC): H01H087/00

EUR-CL (EPC): H01H077/10

ABSTRACT:

CHG DATE=20050930 STATUS=O>The invention relates to a current limiting method, a current limiting device (1), and a switchgear comprising such a device (1). According to the invention, liquid metal (3) is directed along a resistor element (5) for the current limiting path (31) so as to obtain arc-free current limitation for mains-related fault currents ($i(t)$). Examples of embodiments include, among other things: an electrical resistance (R_x) that increases in a non-linear manner in the direction of movement (x) of the liquid metal (3) for a smooth current limiting characteristic; a resistor element (5) in the form of a dielectric matrix (5) comprising channels (3a) for the liquid metal (3), and a combined current limiter-circuit breaker (1). Advantages include, among other things: arc-free, reversible current limitation and optional power shutdown; suitable also for high voltages and currents; fast reaction times; reduced wear; and maintenance-friendly.